



UNIwersytet
Warszawski

Wydział Fizyki
Instytut Fizyki Teoretycznej

Warszawa, 30.11.2023

dr hab. Rafał Demkowicz-Dobrzański, prof. ucz.
Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego
ul. Pasteura 5
02-093 Warszawa
demko@fuw.edu.pl

Recenzja dorobku naukowego dr Katarzyny Siudzińskiej w związku z jej postępowaniem habilitacyjnym

Podstawą wniosku habilitacyjnego Pani dr Katarzyny Siudzińskiej jest cykl 13 prac zebranych pod wspólnym tytułem „Analiza i zastosowania kanałów Pauliego i ich uogólnień”. Są to prace z dziedziny fizyki matematycznej, kwantowych układów otwartych i informacji kwantowej. Habilitantka wskazuje na cztery główne cele badawcze cyklu:

- (a) Geometria na przestrzeni kanałów kwantowych (prace H1-H4)
- (b) Klasyczne mieszaniny odwzorowań dynamicznych (prace H5-H8)
- (c) Poprawa właściwości komunikacyjnych kanałów za pomocą szumów (prace H9-H12)
- (d) Dalsze uogólnienia kanałów Pauliego (H13)

Wspólnym mianownikiem, wszystkich prac jest matematyczna analiza struktury kanałów kwantowych opisujących ewolucję kwantowych układów otwartych, zbadanie roli niemarkowskiego oraz nieodwracalnego charakteru kanałów oraz analiza wpływu charakteru szumu na własności istotne z punktu widzenia kwantowego przetwarzania informacji. Poniżej pozwolę sobie podsumować najważniejsze w mojej ocenie wyniki zawarte w cyklu.

(a) Geometria na przestrzeni kanałów kwantowych

W pracach H1-H4 habilitantka analizuje geometrię zbioru kanałów kwantowych w ramach metryki Hilberta-Schmidta, badając objętości zajmowane przez poszczególne klasy kanałów kwantowych. W pracach H1-H3 analizuje uogólnione kanały Pauliego, a w pracy H4 kanały kowariantne. Rozważa różne klasy kanałów: nieodwracalne, kanały łamiące splatanie, kanały generowane przez fizyczny generator lokalny w czasie. Najciekawszym ogólnym wnioskiem płynącym z tych badań jest fakt, że tylko niewielki procent kanałów kwantowych (w sensie objętości) można uzyskać za pomocą równań master z fizycznymi generatorami lokalnymi w czasie.

(b) Klasyczne mieszaniny odwzorowań dynamicznych

W pracach H5-H8 analizowany jest aspekt probabilistycznego mieszania ewolucji kwantowych i badania własności w ten sposób uzyskanej klasy kanałów kwantowych. Habilitantka w szczególności analizuje własności markowowskości, odwracalności czy unitalności tak uzyskanych odwzorowań, skupiając się na uogólnionych kanałach Pauliego i kanałach kowariantnych. Najciekawsze wyniki dotyczą możliwości uzyskiwania bardzo silnie niemarkowowskich odwzorowań (odpowiadającym wielu ujemnym współczynnikami w równaniu master) poprzez mieszanie odwzorowań markowowskich. Uzyskane wyniki pozwalają w szczególności stwierdzić, że wiele z rozważanych podklas odwzorowań nie tworzy zbiorów wypukłych.

(c) Poprawa właściwości komunikacyjnych kanałów za pomocą szumów

Prace H9-H12 dotyczą bardziej praktycznych własności kanałów kwantowych, związanych z ich pojemnością informacyjną. Habilitantka, rozważ wciąż podobne klasy kanałów jak w pozostałych pracach, uogólnione kanały Pauliego oraz kanały kowariantne. Najważniejszym w mojej ocenie wynikiem jest uzyskanie jawnego wzoru na pojemność informacyjną uogólnionych kanałów Pauliego (H9). Ponadto, w pracach H10-H12, analizowane są efekty dodawania/modyfikacji szumu na pojemność kanałów kwantowych. W szczególności pokazane jest, że sumowanie jąder pamięci pozwala na tymczasowe zwiększenie pojemności uogólnionych kanałów Pauliego. W przypadku kanałów fazowo kowariantnych klasyczny szum może zostać wykorzystany do wprowadzenia nieunitalności kanału i poprawy jego pojemności wydajności w każdej chwili czasu.

(d) Dalsze uogólnienia kanałów Pauliego

Ostatnia praca z cyklu H13, prezentuje propozycję dalszego uogólnienia kanałów Pauliego poza konstrukcje opartą na bazach wzajemnie nieobciążonych (MUB), co może być przydatne w wymiarach gdzie kompletny zestaw MUB nie jest dobrze scharakteryzowany.

Oceniając powyższy dorobek, należy zwrócić uwagę na bardzo duży wkład samej habilitantki we wszystkie prace w cyklu. Większość z nich jest wręcz jednoautorska. Nie mam w związku z tym żadnych wątpliwości co do bardzo dużej samodzielności i kompetencji naukowej habilitantki.

Jeśli chodzi o same wyniki, z pewnością stanowią one istotny wkład do zrozumienia matematycznej struktury kanałów kwantowych. Nie mniej, mimo pewnych ogólnych motywacji przedstawionych w autoreferacie i samych pracach, nie jestem przekonany o ich bezpośrednim wpływie na praktyczny rozwój komunikacji czy obliczeń kwantowych. Mam wrażenie, że w prowadzonych badaniach habilitantka zadowala się analizą matematycznych struktur i nie stara się zejść na poziom bardziej fizyczny, gdzie faktycznie uzyskane wyniki miałyby praktyczne znaczenie. Mimo wielu referencji do potencjalnych eksperymentów z dziedziny kwantowego przetwarzania informacji nie widzę w przedstawionych pracach, ani jednej pracy która byłaby prowadzona w jakiejś bliższej współpracy z grupą doświadczalną. Pozostawia to niestety wrażenie, że większość wyników jest uzyskanych jednak w oderwaniu od praktycznych modeli szumu, a habilitantka skupia się na swoich ulubionych klasach kanałów. Przykładowo, odnośnie badań (a) nie widzę silnych argumentów, dlaczego w praktyce dynamika miałaby być losowana zgodnie z miarą Hilberta-Schmidta na przestrzeni kanałów. Nawet od strony czysto formalnej, rozważając problematykę rozróżnialności kanałów kwantowych, nie jest to metryka naturalna. Tym bardziej, nie jest jasne w jakich sytuacjach

fizycznych taka metryka byłaby przydatna. Odnosnie wyników (b), podobnie nie jest jasne w jakich sytuacjach fizycznych w naturalny sposób możemy natrafić na zagadnienie mieszania odwzorowań dynamicznych. Nie jest też jasne, na ile fakt uzyskania ujemnych współczynników w równaniu master, należy traktować jak istotnie kwantowy efekt pamięci, a na ile jedynie manifestacje klasycznych korelacji czasowych. W przypadku wyników (c) podobnie nie jest jasne, na ile „formalne operacje” polegające na modyfikacji generatorów ewolucji lub mieszania odwzorowań odpowiadają rzeczywistości fizycznych kwantowych kanałów komunikacyjnych, a z związku z tym nie jest jasny ich aspekt praktyczny.

W kontekście powyższych uwag, wspomniana powyżej duża samodzielność naukowa, nasuwa jednak obawę zbyt dużego zamknięcia się habilitantki w uprawianej przez siebie tematyce i zbyt małe oddziaływanie z międzynarodowymi grupami badawczymi, zwłaszcza doświadczalnymi. Jedyna współpraca międzynarodowa i jednocześnie jedyny dłuższy pobyt w jednostce innej niż macierzysta (jest to wymóg habilitacyjny, który tu jest spełniony choć w stopniu minimalnym), prowadzona była z grupą teoretyczną z Drezna. Ten fakt odbija się też w parametrach bibliograficznych, które mimo że są bardzo dobre zwłaszcza jeśli wziąć pod uwagę matematyczny charakter prac (26 publikacji, liczba cytowań 151, indeks Hirscha 7), to ujawniają duży udział autocytowań (prawie połowa), co pokazuje że wyniki nie są szczególnie mocno rozpoznawalne w środowisku międzynarodowym. Większość wystąpień konferencyjnych/seminaryjnych Habilitantka również ma w Polsce lub wręcz w swojej macierzystej jednostce.

Jeśli chodzi o pozostałe aspekty działalności, to zarówno działalność dydaktyczną jak i organizacyjną (współorganizacji konferencji, duża aktywność recenzencka) oceniam bardzo pozytywnie. Jedyny niepokojący aspekt, to brak wypromowanych licencjatów i magistrantów. Habilitantka ma też duże doświadczenie w udziale i prowadzeniu grantów badawczych – jest/była kierowniczką 3 grantów NCN.

Podsumowując. Uważam, że dorobek naukowy Pani dr Katarzyny Siudzińskiej zasługuje na przyznanie stopnia doktora habilitowanego. Uzyskała ona znaczące wyniki w dziedzinie analizy matematycznych własności ewolucji kwantowych układów otwartych. Nie mniej, tak jak zaznaczyłem powyżej, dalszy owocny rozwój naukowy wymaga od habilitantki zwiększenia stopnia współpracy międzynarodowej i rozszerzenia tematyki badawczej.